Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 76 (1983)

Heft: 3

Artikel: Galerie Delémont-Bellerive : observations géologique et hydrogéologiques

Autor: Flury, François / Kübler, Bernard / Rey, Jean-Philippe

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-165375

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv.	Vol. 76/3	Pages 507–522	7 figures et 1 tableau dans le texte	Bâle, novembre 1983

Galerie Delémont–Bellerive
Observations géologiques et hydrogéologiques

Par FRANÇOIS FLURY[1]), BERNARD KÜBLER[2]), JEAN-PHILIPPE REY[1])
et BERNARD-ANDRÉ SCHINDLER[1])

RÉSUMÉ

Le creusement d'une galerie nord-sud de 950 m entre Delémont et Bellerive a permis l'acquisition de nouvelles données géologiques et hydrogéologiques. La galerie a recoupé le Malm calcaire du flanc sud de l'anticlinal du Vorbourg.

La mesure systématique des fractures en galerie a fait ressortir deux grandes familles de fractures subverticales de direction NNE-SSW et NW-SE.

L'examen par diffraction X des argiles rencontrées en galerie a permis de reconnaître trois associations minéralogiques distinctes: association sédimentaire originelle, argiles rouges «typiques» et mélange mécanique.

L'aquifère karstique répond au modèle de la «double porosité». Il est alimenté par l'ensemble Birse-nappe alluviale des Rondez dans le secteur sud de la galerie et se décharge dans la Birse à la hauteur du contact Rauracien-«Oxfordien» dans le secteur nord. Un calcul de la perméabilité régionale des calcaires est proposé.

ABSTRACT

Drilling of a 950 m long, north-south sewage tunnel between Delémont and Bellerive (Jura mountains, northwestern Switzerland) has produced new geological and hydrogeological data. The tunnel was drilled through the Malm (limestone) of the southern flank of the Vorbourg anticline.

A general survey of the fractures in the tunnel has shown two main groups of subvertical fractures: the first NNE-SSW the second NW-SE.

X-ray diffraction of the tunnel's clays has identified three different mineralogical associations: original sedimentary association, "typical" red clays and mechanical mixing.

The karstic aquifer complies with the "double porosity" model. In the southern part of the tunnel, it is fed jointly by the river Birse and the adjacent Rondez alluvial aquifer, and empties into the Birse at the Rauracien-"Oxfordien" contact (limestone-marl) near the northern entrance of the tunnel.

A calculation of the regional permeability is proposed.

1. Introduction

Au nord de Delémont, le portail sud de la cluse du Vorbourg est topographiquement resserré, les calcaires du Malm touchent le lit de la Birse, la route Delémont-Bâle et la voie CFF. L'installation d'un collecteur d'eaux usées entre Delémont et la

[1]) Bureau B. Schindler, CH-2515 Prêles et CH-2800 Delémont.

[2]) Laboratoire de Minéralogie, Pétrographie et Géochimie; Institut de Géologie, CH-2000 Neuchâtel.

STEP de Soyhières posait donc un problème de place, qui a été résolu par le percement d'une galerie à travers les calcaires du Malm (fig. 1).

La galerie, de section composite (1,6 × 2,5 m) et de 950 m de longueur, a été forée d'août 1981 à janvier 1982 pour le Syndicat d'épuration des eaux usées de Delémont et environs (SEDE).

2. Contexte géologique

2.1 *Structures*

Le bassin de Delémont est surtout connu pour ses gisements de fer d'âge Eocène à faciès sidérolithique. LINIGER (1925) lui a consacré une monographie puis, plus récemment, SUTER (1978) en a décrit la structure profonde à l'aide de données sismiques.

Il s'agit d'un vaste synclinal (22 × 4 km) d'axe est-ouest limité à l'ouest par l'anticlinal de La Caquerelle, au sud par les anticlinaux de Vellerat et du Tiergarten, à l'est par l'anticlinal du Trogberg-Rotmatt, et au nord par l'anticlinal du Vorbourg. Le synclinal de Delémont comprend également deux petites structures transversales: les anticlinaux de Develier et Vicques (MEURY 1981). Ce sont des plis de faible amplitude, d'axe NNE-SSW, qui affectent le flanc sud de l'anticlinal du Vorbourg. Ils plongent vers le SSW sous les séries Tertiaires et Quaternaires. En outre, une série de cassures de direction «rhénane» (NNE-SSW) recoupe le bassin de Delémont (SUTER 1978): la faille de Develier, la «zone faillée» (Querstörungszone) de Delémont, la faille de Courrendlin et la faille de Vicques. Il s'agit, d'après SUTER, de failles normales liées à la formation du fossé rhénan à l'Oligocène, puis réactivées en décrochements lors du plissement du Jura au Miocène.

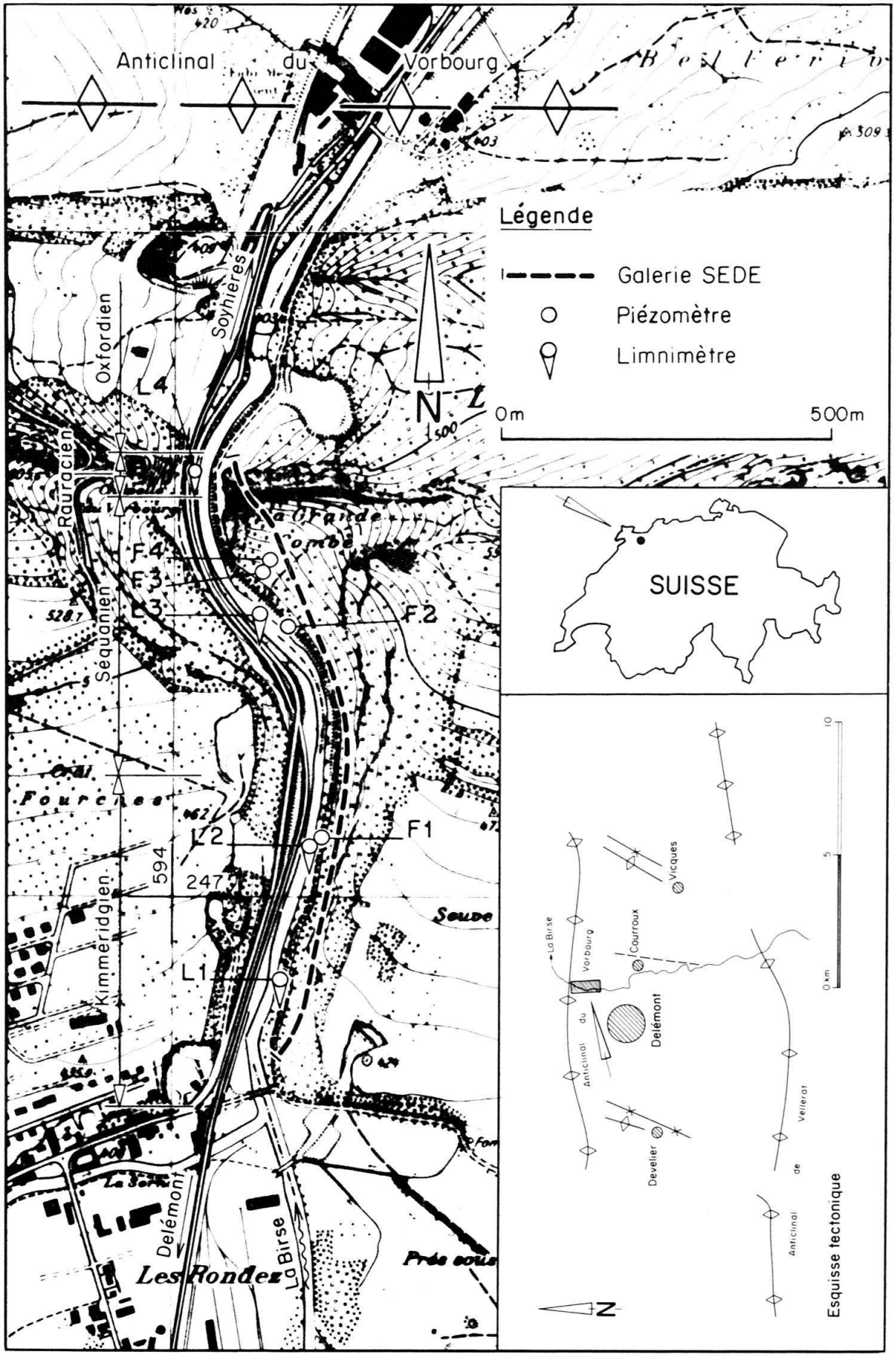
D'autre part, LINIGER (1925), en se basant sur les différentes profondeurs du Malm sous le Tertiaire dans les puits de mine à l'est et à l'ouest de Delémont, propose un «pli transversal des Rondez» («Querwelle von Rondez») entre Courroux et Delémont. Or, au vu des profils sismiques de SUTER (1978), et de nos observations en galerie et dans les secteurs voisins de la cluse, rien ne confirme l'existence de ce pli transversal des Rondez. Tout porte à croire que les différentes altitudes du Malm à l'est et à l'ouest de Delémont résultent uniquement de la faille de Courrendlin et de la zone faillée de Delémont, sans participation d'une quelconque structure plissée d'axe nord-sud.

D'un point de vue structural, la galerie traverse le flanc sud de l'anticlinal du Vorbourg (axe est-ouest): du nord vers le sud, les couches sont de moins en moins relevées (50° S au portail nord et 5-14° S au portail sud).

2.2 *Lithostratigraphie*

Les séries recoupées lors du percement de la galerie ne présentent pas de particularités par rapport aux données de la littérature sur la région, c'est la raison

Fig. 1. Situation et esquisse tectonique. Plan reproduit avec l'autorisation de la Direction fédérale des mensurations cadastrales du 26 avril 1983.


Anticlinal du Vorbourg
Bellerive
Légende
Galerie SEDE
Piézomètre
Limnimètre
0m
500m
N
Oxfordien
Rauracien
Séquanien
Kimméridgien
Soyhières
L4
L3
L2
L1
F4
F3
F2
F1
594
247
Delémont
La Birse
Les Rondez
SUISSE
Vicques
Courroux
Vorbourg
Delémont
Develier
Anticlinal du Vellerat
Anticlinal de Vellerat
Esquisse tectonique
0 km
5
10
N

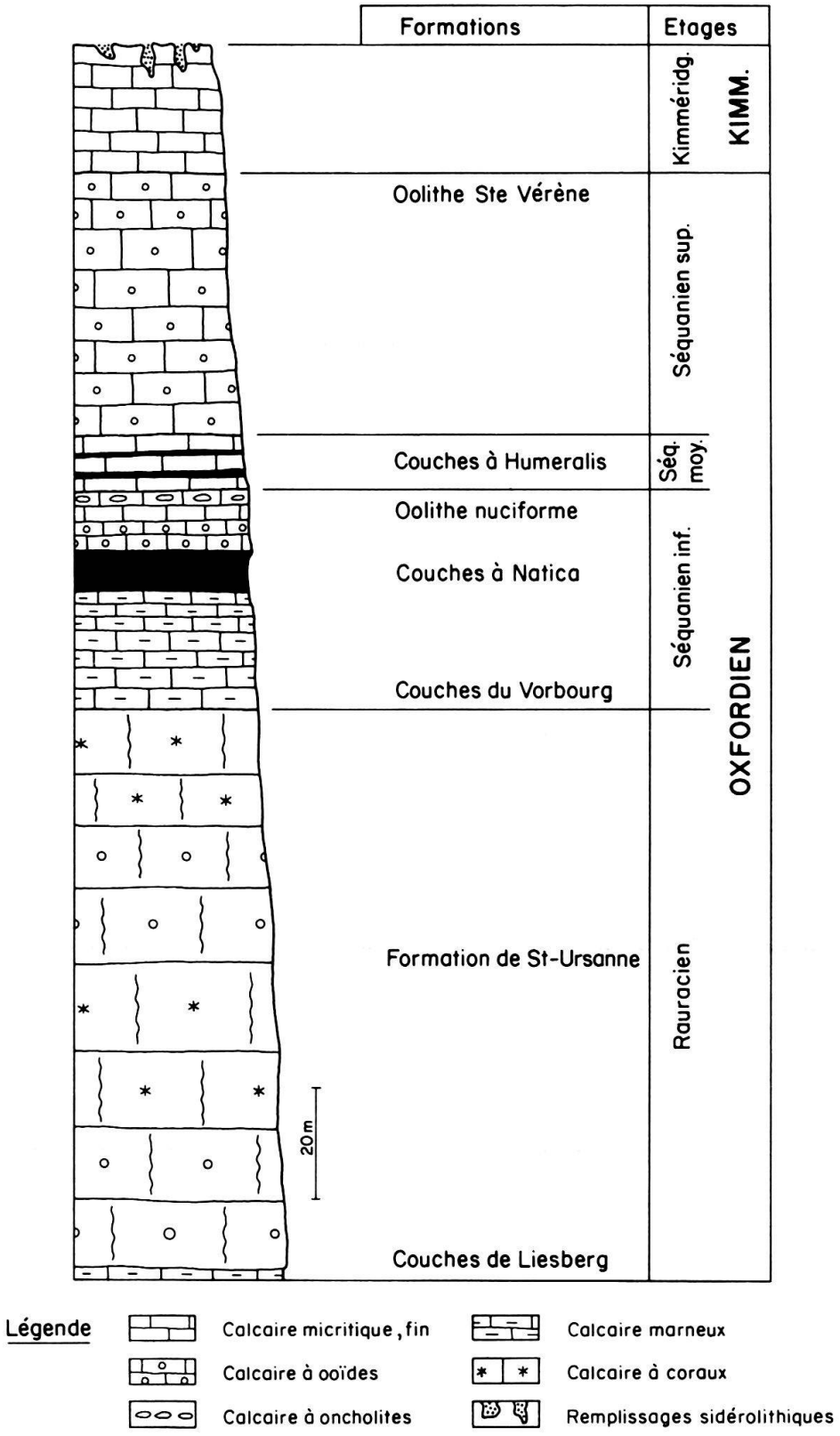


Fig. 2. Stratigraphie des formations recoupées par la galerie.

pour laquelle nous nous limitons à ne donner ici qu'un rappel sous forme de coupe lithostratigraphique (fig. 2).

3. Fracturation

Le lever en galerie représente un apport significatif à l'étude de la fracturation de la région: nous avons en effet mesuré la direction et le pendage de toutes les discontinuités trouvées dans la galerie (env. 400 mesures), à l'exception d'une zone comprise entre 690 et 720 m (mesurée depuis le portail nord) où la fracturation est trop intense pour être levée de manière exhaustive.

La représentation graphique de ces mesures par contourage sur canevas de Schmidt fait ressortir deux familles de fractures (fig. 3):

— un système vertical NNE-SSW (N 24° E),
— un système subvertical (80°) NNW-SSE (N 150° E).

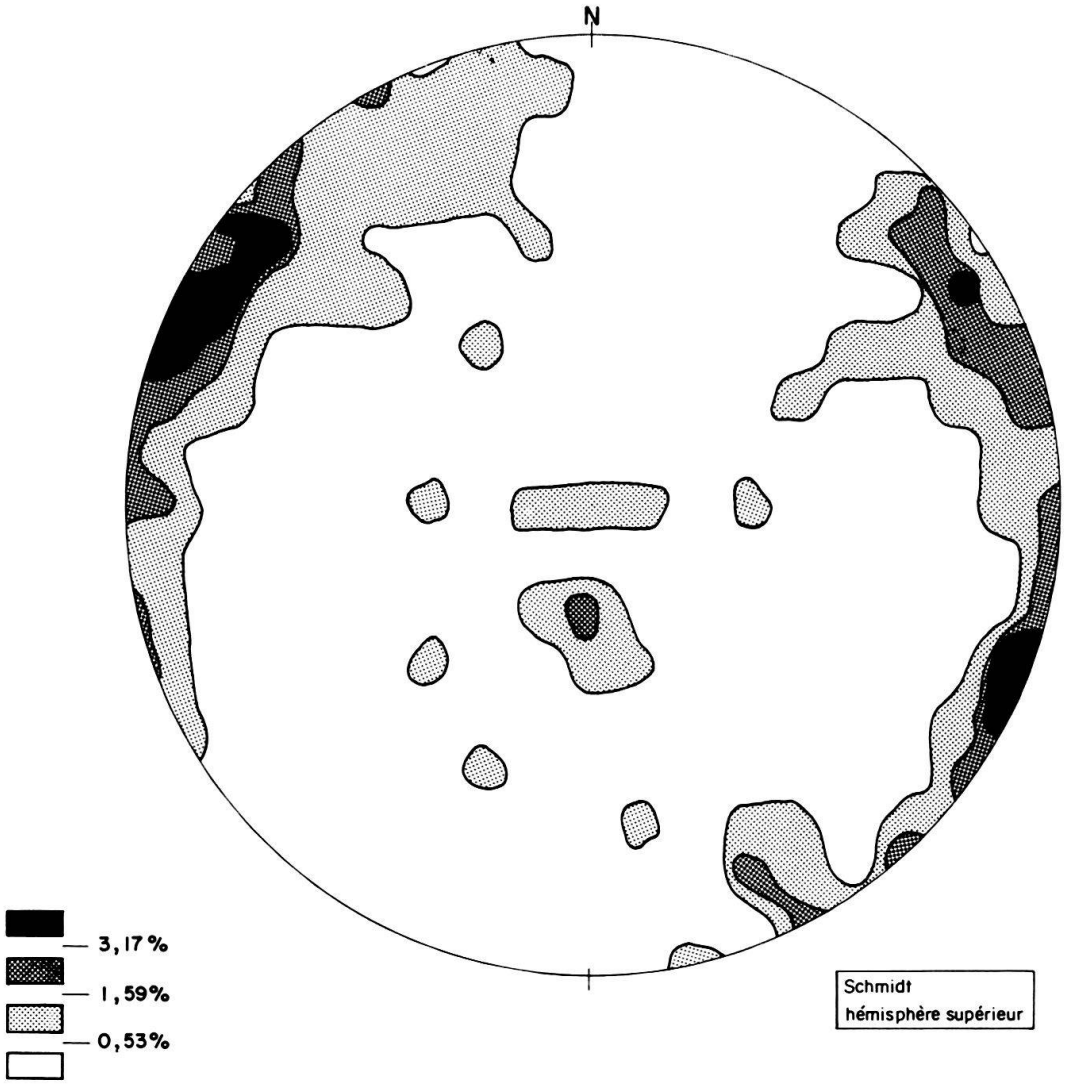


Fig. 3. Fracturation: répartition des pôles des plans de fracture.

La première famille peut être apparentée au système «rhénan», réseau de failles normales liées à la formation du fossé du Rhin à l'Oligocène. Lors du plissement du Jura à la fin du Miocène, ces failles ont rejoué en décrochements sénestres. Cette réactivation a entraîné la création d'un système conjugué à environ 120°, qui est représenté ici par la seconde famille des fractures.

Nous avons relevé 6 passées fortement tectonisées, dont la largeur varie de 5 à 40 m et qui figurent probablement des zones préférentielles de déformation. Mesurées depuis le portail nord, elles se situent, dans le Rauracien à 53 m, 79 m et 91 m, et dans le Séquanien à 520 m, 690 m et 848 m.

La morphologie des cassures et fractures observées est très variable et semble indépendante de leur direction. Elles peuvent être à lèvres jointives ou bréchifiées, ou ouvertes et colmatées, avec ou sans rejet. Les faibles dimensions de la galerie ainsi que des contraintes de chantier ont malheureusement empêché une approche plus précise de ces phénomènes.

L'orientation de la cluse du Vorbourg (N 15° E) est parallèle à la direction principale de fracturation (N 24° E), confirmant ainsi les observations de MONBARON (1975) dans la cluse du Pichoux. Remarquons ici que la cluse du Vorbourg s'aligne sur la famille de fractures *antérieures* au plissement du Jura. On peut y voir un argument pour une naissance de la cluse préalable au plissement.

4. Les remplissages argileux

4.1 *Buts*

Le percement de la galerie rendant possible l'examen des roches dans leur état «non oxydé», il nous a paru intéressant d'étudier la nature des remplissages argileux d'un certain nombre de fissures et poches observées lors de l'excavation. A cet effet, 26 échantillons ont été recueillis tout au long de la galerie. Le choix des échantillons a été fait selon la couleur des argiles d'une part, et selon la forme (interlit, fissure, poche) de leur «gisement» d'autre part, tout en essayant de représenter l'ensemble lithostratigraphique. Nous avons abordé l'étude de ces argiles uniquement sous l'angle des associations minéralogiques déterminées par diffraction X (faciès rœntgenographiques) pour les fractions décarbonatées, inférieures á 16 μm et 2 μm (Texturpräparate).

4.2 *Les associations*

Les diagrammes de diffraction X peuvent être considérés comme une «empreinte digitale» de l'échantillon qui permet une comparaison des échantillons entre eux. Par les diverses associations minérales qui apparaissent sur les diagrammes et par l'allure de leurs profils de diffraction, des faciès minéralogiques (faciès rœntgenographiques) sont reconnaissables.

4.2.1 *Association sédimentaire originelle*

Un certain nombre de diagrammes présentent un cortège minéralogique relativement étendu, où sont présents mica, parfois kaolinite, chlorite, feldspath potassi-

que, plagioclase et quartz. Tous ces minéraux ont une très bonne «cristallinité» (largeur du pic à mi-hauteur). On peut en déduire qu'ils sont détritiques et non oxydés, comme en témoigne la pyrite (diagramme 1129, fig. 4). Nous trouvons ce type de faciès dans de petits interlits marneux du Kimméridgien et du Séquanien et dans des fissures injectées de marnes séquaniennes.

D'autres diagrammes présentent la même association minéralogique à la différence près que la chlorite et les feldspaths tendent à disparaître, des interstratifiés apparaissent, la gœthite remplace la pyrite et la cristallinité devient moins bonne. Ce sont typiquement des faciès de début d'altération (diagramme 1139, fig. 4). Les échantillons concernés proviennent de zones de fissures.

Un troisième type de diagrammes montre une association minéralogique d'altération bien marquée, sans chlorite et avec des interstratifiés du type illite-montmorillonite. Ce sont en général des échantillons provenant de petites fissures dans lesquelles les marnes ont été injectées. On y trouve parfois de la gœthite (diagramme 1130, fig. 4) provenant vraisemblablement d'une altération de la pyrite par oxydation de la roche dans la masse.

Dans cette association sédimentaire originelle, nous pouvons donc observer une «série continue» de faciès allant d'un état non oxydé à un état très altéré.

4.2.2 *Argiles rouges typiques*

Toute une série de diagrammes présentent un faciès rœntgenographique totalement différent de ce que nous venons de voir. Il s'agit ici d'une association minéralogique restreinte, composée de kaolinite, gœthite et quartz, avec parfois quelques interstratifiés. La cristallinité de la kaolinite est relativement mauvaise, ce qui pourrait indiquer la présence de feuillets d'halloysites. Les diagrammes des préparations passées à l'éthylène glycol montrent un déplacement des interstratifiés vers la position «montmorillonite».

Tous ces diagrammes possèdent un faciès minéralogique typique. Les échantillons dont ils proviennent ont été prélevés dans des «poches argileuses rouges» ou dans d'anciens chenaux karstiques partiellement colmatés.

Le faciès rœntgenographique et la faible teneur en illite de ces argiles rouges permet de les distinguer des argiles de décalcification issues de l'association sédimentaire originelle et de confirmer ainsi l'existence d'un paléokarst en partie colmaté à l'Eocène par les apports sidérolithiques (AUBERT 1975).

L'échantillon 1140 (fig. 4), provenant d'un petit chenal karstique contient des interstratifiés smectoïdes de type hydroxy-Al (Fe) (issus des processus d'altération des apports éoliens dans les sols), identiques à ceux définis par POCHON (1975, 1977, 1978). La présence de tels minéraux dans les argiles rouges est un indicateur certain d'une réactivation du paléokarst suite au plissement jurassien et à l'abaissement consécutif des niveaux de base régionaux.

4.2.3 *Mélanges mécaniques*

L'analyse diffractométrique des échantillons prélevés le long de la galerie nous a révélé un troisième type d'association minéralogique argileuse. En effet, certains diagrammes de diffraction nous montrent la présence de minéraux du faciès

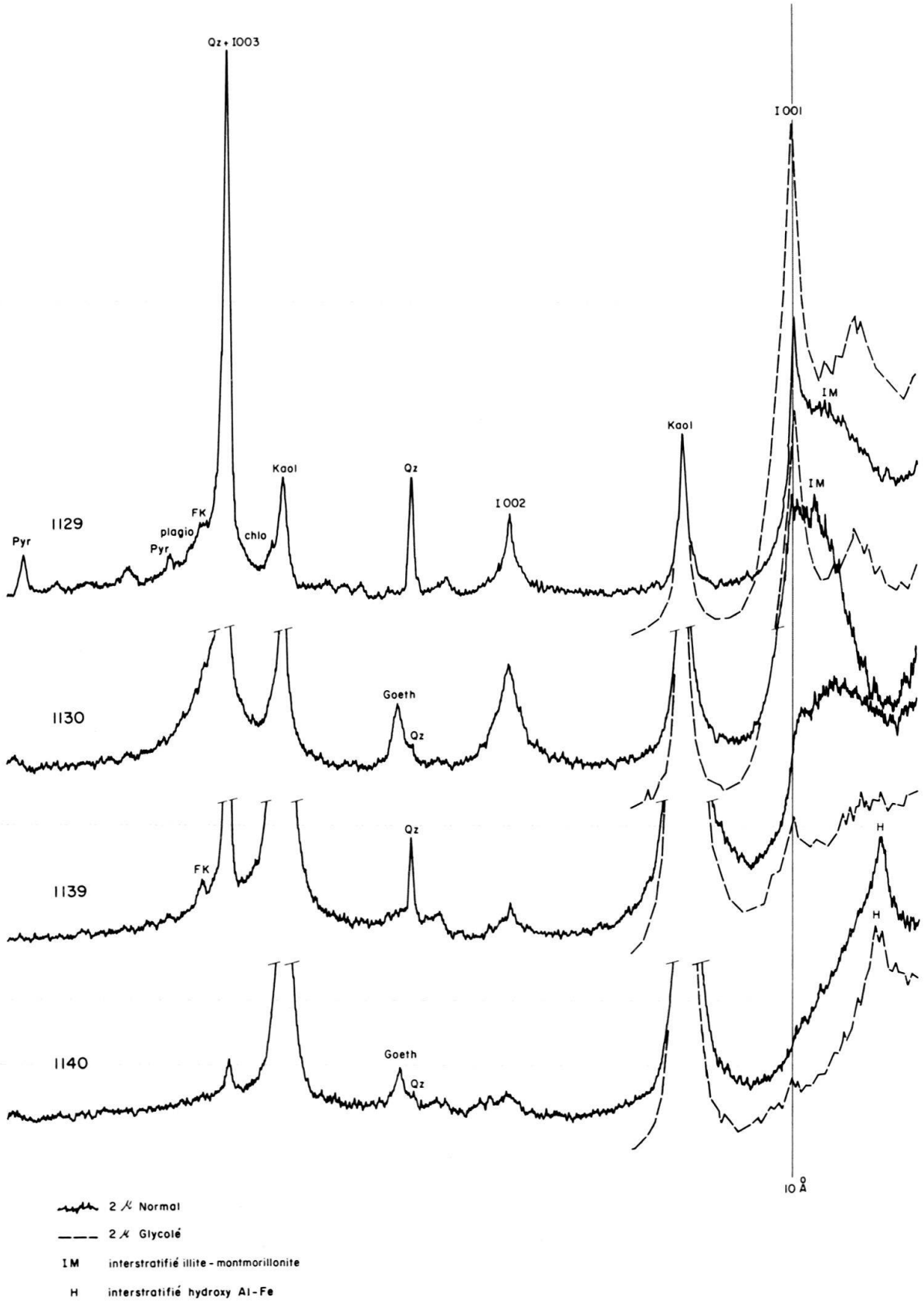


Fig. 4. Diffractogrammes des fractions argileuses inférieures à 2 μm.

sédimentaire originel alliés à des minéraux des argiles rouges typiques: mica détritique, kaolinite mal cristallisée, quartz, traces de chlorite et de feldspaths. Cette association est due à un «mélange mécanique» comme l'atteste la provenance des échantillons: zones tectonisées à remplissage argileux. Il s'agit de petites failles bréchifiées suffisamment ouvertes pour donner lieu d'une part à des circulations d'eau altérant la roche encaissante (oxydation du faciès sédimentaire originel) et permettre d'autre part des apports «allochtones» (argiles rouges).

4.3 *Couleur des argiles*

Si nous avons pu distinguer trois associations minéralogiques par les faciès rœntgenographiques, il est aussi possible de tenter une telle approche par l'observation de la couleur propre de ces argiles. En effet, nous avons remarqué que les plaquettes de préparation pouvaient se regrouper en première approximation en quatre groupes de couleur: gris, brun, jaune et jaune-brun.

Après examen minéralogique de la fraction argileuse, nous pouvons faire correspondre ces couleurs aux faciès suivants:

gris	→ sédimentaire originel non oxydé
jaune	→ sédimentaire originel oxydé
jaune-brun	→ sédimentaire oxydé et argiles rouges
brun	→ argiles rouges et mélanges mécaniques

Chaque couleur d'échantillon peut être précisée et définie à l'aide du Code Expolaire Munsell. Une comparaison de la couleur exacte avec les résultats d'une analyse quantitative en DX sur roche totale devrait permettre d'établir, dans une région donnée, une correspondance couleur-minéralogie et peut-être permettre une approche plus rapide de la nature des argiles et du mode et type d'altération.

5. Hydrogéologie

5.1 *Relations Birse-karst*

Du nord vers le sud, le radier de la galerie est compris entre 400.67 et 402.58 m d'altitude, alors que la fond de la Birse, au droit de la galerie, est compris entre 401.7 et 403.6 m d'altitude. La Birse représentant le niveau de base régional, la galerie se trouve donc sur au moins 1 m de hauteur dans la zone saturée des calcaires. L'étude des variations piézométriques de l'aquifère karstique ainsi que ses relations avec la Birse et sa nappe alluviale sont donc de première importance pour l'utilisation de la galerie. En conséquence, nous avons mis en place un réseau de stations de mesures piézométriques et limnimétriques (fig. 1), où des mesures ont été effectuées entre août 1981 et août 1982, à raison d'une mesure par semaine en moyenne.

Pour des raisons de chantier, les trois piézomètres forés dans les calcaires sont groupés à la hauteur du limnimètre 4, à environ 200 m au sud du portail nord de la galerie.

Entre août et novembre 1981, les niveaux d'eau des piézomètres F2 et F3 sont constamment situés en dessous du niveau de la Birse mesuré aux limnimètres L1 et

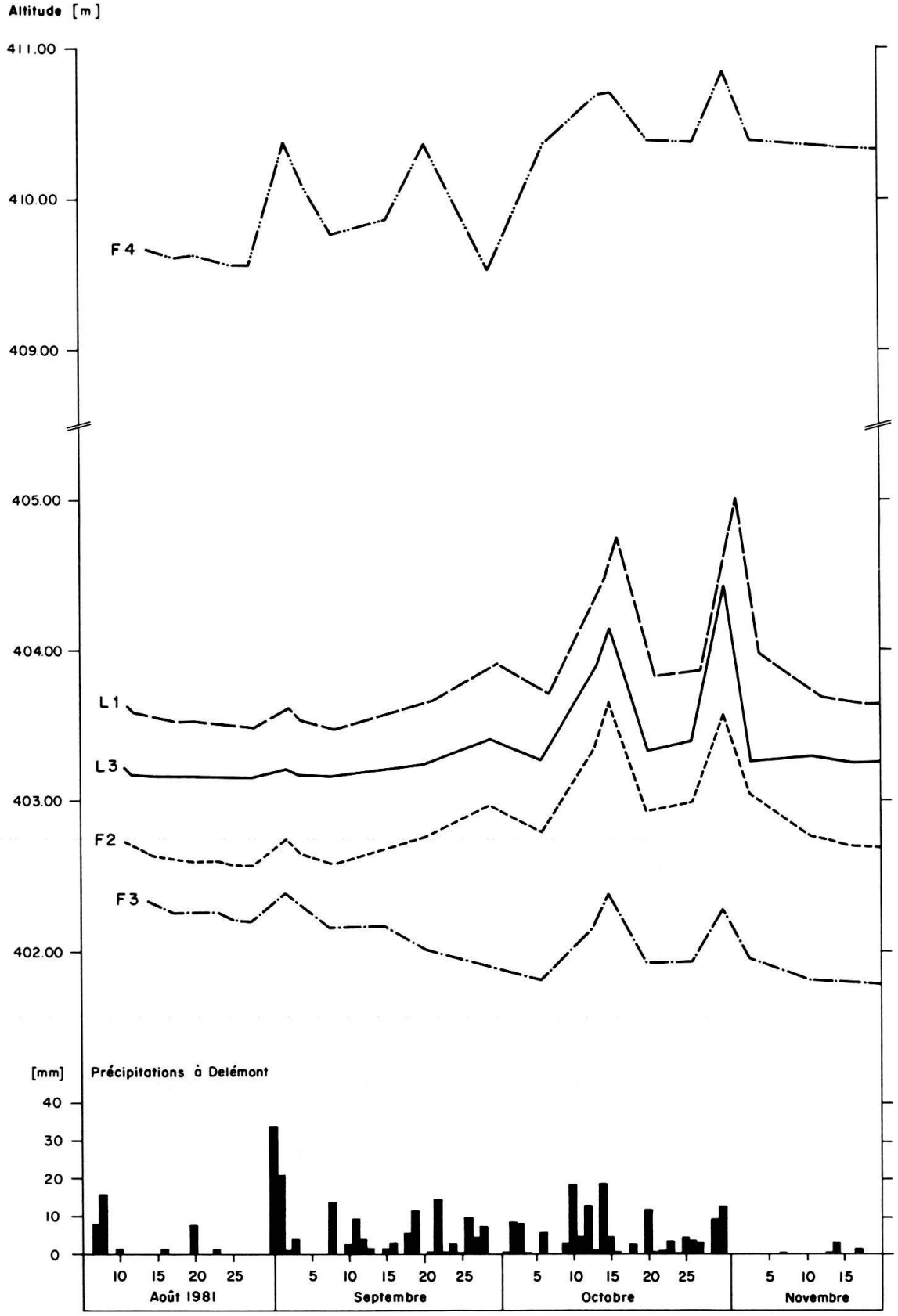


Fig. 5. Précipitations, niveaux de la Birse (L1 et L3) et niveaux piézométriques (F2, F3 et F4).

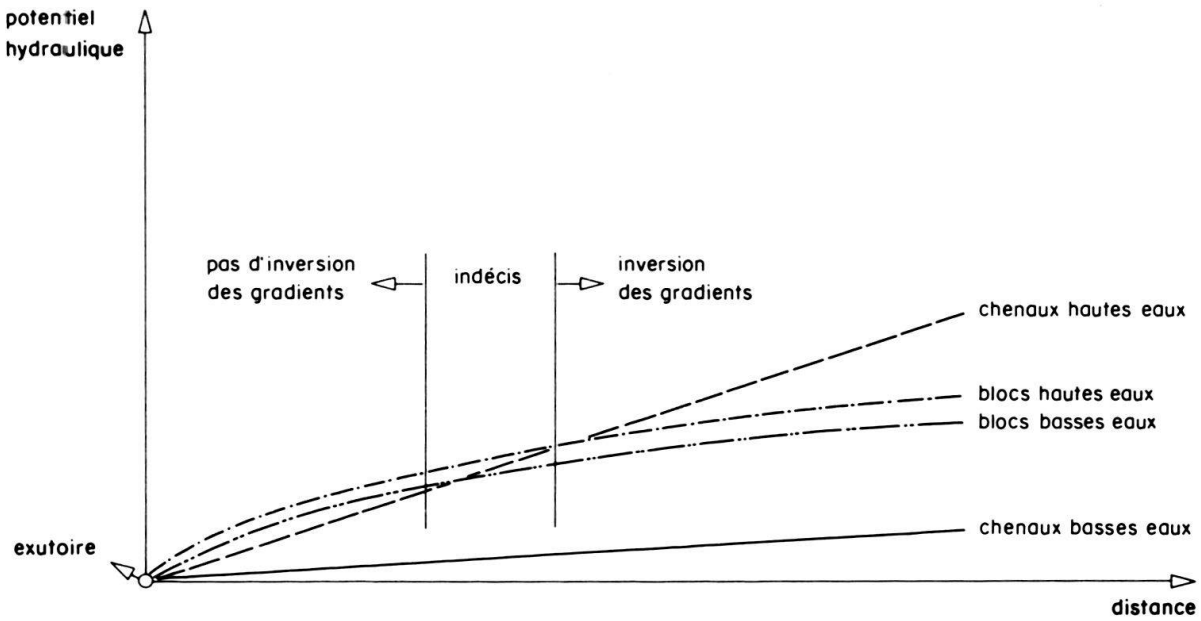


Fig. 6. Répartition des potentiels à proximité de la zone d'exutoire du karst (interprétation).

L3. D'autre part, les niveaux de la Birse et du karst varient de la même manière et simultanément (fig. 5). On peut donc formuler l'hypothèse d'une relation hydraulique Birse-karst, avec un gradient dirigé vers le karst, dans la zone sud de la galerie. Pendant la période de mesures, le piézomètre F4 a montré un niveau d'eau moyen situé à 8 m au-dessus du niveau de la Birse, la réponse aux précipitations étant parallèle à celle des piézomètres F2 et F3. Nous pensons donc que le piézomètre F4 est implanté dans un bloc à faible perméabilité. Ceci correspond aux recherches de BURGER (1979) sur la «double porosité» des aquifères karstiques: les massifs calcaires sont découpés par des systèmes de fractures le long desquels se développent des chenaux et zones de drainage à perméabilité élevée (système d'écoulement lié directement à la Birse: F2 et F3). Entre les systèmes de fractures subsistent des «blocs» à perméabilité beaucoup plus faible, dont le niveau de pression reste ici constamment plus élevé que celui des «grands» chenaux voisins. Nous n'observons pas d'inversion du gradient entre chenaux et blocs, ce qui peut être attribué à la proximité immédiate de la zone d'exutoire (fig. 6).

5.2 *Venues d'eau en galerie*

Afin de vérifier le modèle proposé ci-dessus (zones fracturées aquifères délimitant des «blocs» peu perméables), nous avons représenté à la figure 7 le nombre de venues d'eau et suintements par tronçons de 10 m de galerie. La figure 7 indique une bonne correspondance du modèle avec la réalité observée en galerie: en effet, dans la galerie, les zones comprenant de nombreuses venues d'eau sont séparées par des zones «sèches» de 10 à 100 m de long. La répartition des venues d'eau est donc hétérogène, ainsi que les travaux de BURGER l'indiquent.

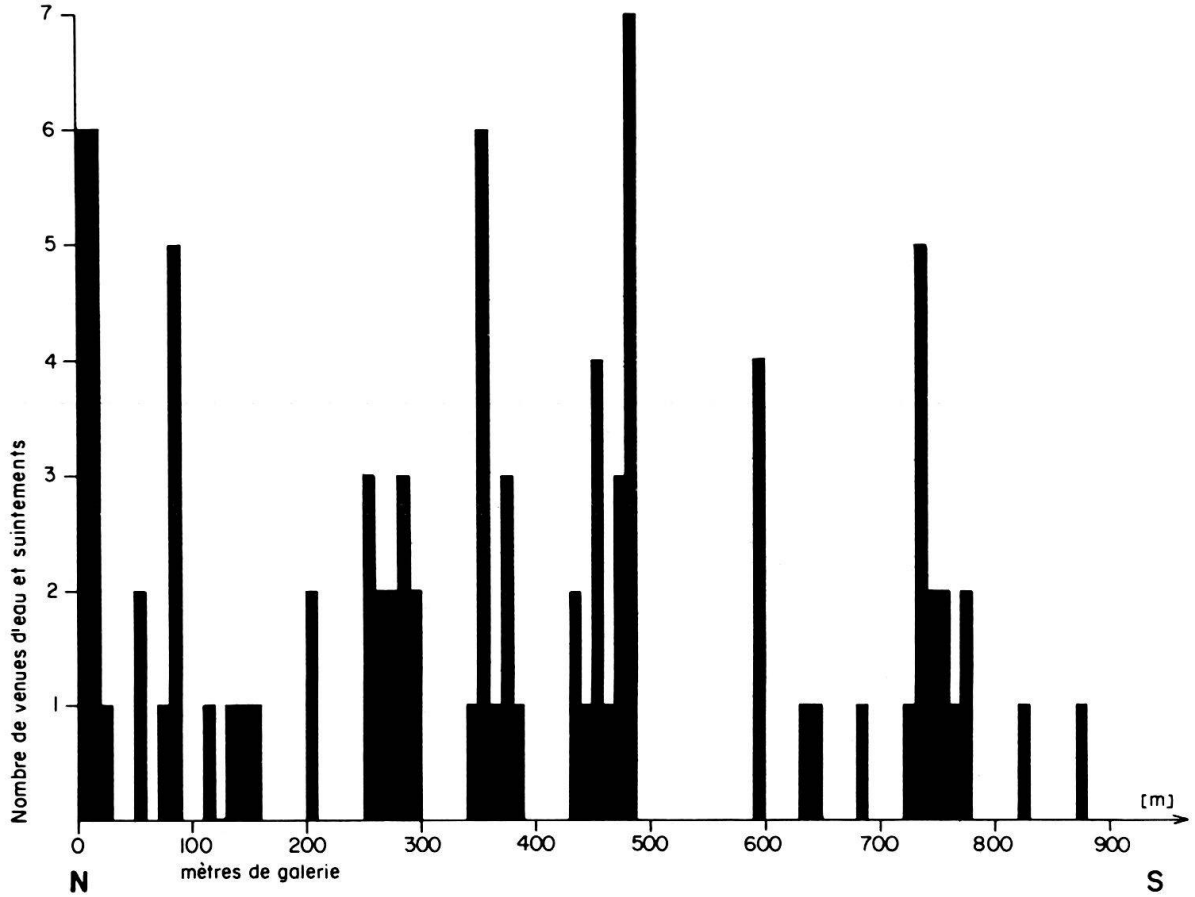


Fig. 7. Nombre de venues d'eau et suintements par tronçons de 10 m de galerie.

5.3 *Estimation de la perméabilité régionale*

Nous pouvons, d'après l'exemple de JAMIER (1975), estimer la valeur de la perméabilité régionale des calcaires dans le secteur de la galerie. La loi de Darcy ($K = Q \times i^{-1} \times S^{-1}$) permet de calculer la valeur de la perméabilité en connaissant le débit drainé par la galerie ($Q = 1{,}94 \times 10^{-2}$ m³/s le 8 mars 1982) et la surface ($S = 3{,}4 \times 10^3$ m²) de la galerie située en dessous du niveau de saturation (approximation: mi-hauteur de la galerie). Le gradient hydraulique (i) perpendiculairement à la galerie est estimé à partir de l'altitude des sources karstiques de Courroux-Courcelon (480-500 m) relativement au niveau de base que forme la Birse (400 m). Le gradient (i) se situe entre 1×10^{-2} et 5×10^{-2}. Nous obtenons donc des valeurs de perméabilité comprises entre $1{,}1 \times 10^{-4}$ et $5{,}7 \times 10^{-4}$ m/s.

Nous sommes conscients que l'utilisation de la loi de Darcy constitue une simplification en domaine karstique: l'écoulement n'est pas forcément laminaire et l'aquifère n'est pas non plus isotrope du point de vue de sa perméabilité. A titre de comparaison, TRIPET (1972) donne $K = 5 \times 10^{-3}$ m/s pour le bassin de l'Areuse.

Au vu de nos mesures de fracturation (§ 3), la perméabilité régionale des calcaires doit présenter un maximum selon la direction nord-sud. En plus, la décharge géostatique du versant, due à l'érosion de la cluse, favorisera l'ouverture

des joints nord-sud. Le calcul fait ci-dessus concernera avant tout la perméabilité de direction est-ouest, perpendiculaire à la galerie. Il n'est donc pas surprenant que nos valeurs soient plus faibles que celles de TRIPET. L'anisotropie de la perméabilité, liée à la fracturation, permet également de comprendre les très faibles débits observés pour un tel ouvrage dans le contexte hydrogéologique donné: en termes de probabilité, l'orientation de la galerie a réduit les risques d'intersection de grands chenaux d'orientation nord-sud.

5.4 *Chimie des eaux de la galerie (tableau)*

Les analyses chimiques ont été conduites dans le but de déceler d'éventuelles influences Birse-galerie.

D'emblée, on peut constater que les indicateurs traditionnels de pollution (nitrite, phosphate, ammonium, potassium, oxydabilité) ont des concentrations nettement plus importantes dans la rivière qu'en galerie. Il n'y aurait donc pas d'influence dominante du chimisme de la Birse sur le karst. Les venues d'eau proches du portail sud montrent toutefois des particularités intéressantes: les trois dernières venues d'eau ont des teneurs en nitrates, ammonium ainsi qu'une oxydabilité supérieure à celles des autres venues d'eau. On ne peut donc pas exclure ici une certaine influence de la Birse.

Les teneurs en sulfates localement élevées peuvent s'expliquer par la présence de gypse dans le sidérolithique (LINIGER 1925). Toutefois, nous n'avons pas trouvé de gypse dans les analyses par diffraction X des argiles de fissures.

5.5 *Modèle hydrogéologique*

Nous avons vu plus haut (§ 5.1) que le gradient hydraulique permet une relation dans le sens Birse → karst sur les trois quarts amont (sud) de la galerie.

Toutefois, les analyses chimiques des eaux de la Birse et de la galerie n'indiquent pas d'apport massif de la rivière.

Au vu des éléments exposés plus haut, nous proposons le modèle hydrogéologique suivant:

— Le massif calcaire est découpé en blocs décamétriques peu perméables à écoulement lent, séparés par des zones perméables, à écoulement rapide, correspondant au schéma de la «double porosité» de BURGER (1979).
— L'alimentation en eau des calcaires se fait d'une part par les précipitations tombant sur le bassin-versant (Malm au nord de Courroux-Courcelon) et, d'autre part, par la Birse (quantitativement faible) et sa nappe alluviale du portail sud au droit du limnimètre L3. La prédominance probable de la perméabilité nord-sud laisse ouverte la possibilité d'un apport sensible par la nappe alluviale des Rondez, au sud du massif calcaire.
— A l'exception de la zone proche du portail sud, l'alimentation hydraulique des calcaires par la Birse dans les trois quarts sud de la galerie ne s'assortit pas d'une influence chimique des eaux polluées de la rivière sur les eaux de la galerie.
— Au vu des conditions limnimétriques et piézométriques, la décharge des calcaires dans la Birse ne peut se faire qu'à la hauteur du contact des calcaires du Raura-

Tableau: *Analyses chimiques de la Birse et des venues d'eau en galerie. (Eboulis-20 m: venue d'eau dans les éboulis à 20 m au nord du portail nord. Métrage à partir du portail nord vers le sud. R: radier, V: voûte, E: côté est, W: côté ouest.)*

Echantillon	Date de prélèvement	pH	Teneur en O_2 [mg O_2/l.]	Oxydabilité [mg $KMnO_4$/l.]	TOC [mg C/l.]	Nitrite [mg NO_2^-/l.]	Nitrate [mg NO_3^-/l.]	Chlorure [mg Cl/l.]	Phosphate [mg PO_4^{3-}/l.]	Ammonium [mg NH_4^+/l.]	Sulfate [mg SO_4^{2-}/l.]	Dureté carbonatée [°F]	Dureté totale [°F]	Potassium [mg/l.]	Sodium [mg/l.]
Birse	30.6.81	8.19	9.5	15.8	3.4	0.23	7.3	8.8	0.99	0.77	13.1	22.0	24.0	2.7	5.4
Birse	15.10.81	8.13					7.5		0.21	0.17	9.5	22.5	24.5		
Birse	18.11.81	8.14	11.1	16.4	1.2	0.12	7.8	8.0	0.76	0.65	13.2	23.5	25.5	2.5	5.8
Birse	16.12.81	7.98		48.0	5.1	0.03			0.27	0.23		18.0	19.5	2.2	5.0
Birse	26.1.82	8.25	12.0	12.7	2.3	0.05	6.3	8.8	0.39	0.34	14.0	22.0	24.5	1.8	4.4
Eboulis -20m	13.2.82	7.36	6.0	6.3	1.2	0.01	10.0	4.3	0.01	0.19	48.0	23.5	29.5	1.7	2.5
ORW	15.10.81	7.44					11.8		0.01	0.07	19.8	21.5	24.0		
ORW	13.2.82	7.37	10.3	5.6	1.1	0.00	6.5	2.9	0.02	0.08	13.0	22.0	24.5	0.6	1.5
15RW	16.12.81	7.15		8.8	1.7	0.00			0.007	0.04		24.0	27.5	0.5	1.1
15RW	13.2.82	7.38	10.4	4.4	0.95	0.00	5.5	2.9	0.01	0.07	12.0	22.5	25.0	0.5	1.3
140RE	13.2.82	7.46	9.8	4.1	0.65	0.00	8.5	2.2	0.02	0.09	11.0	19.5	22.0	0.5	1.0
207RW	9.2.82	7.31	9.1	7.9	0.90	0.00	5.5	3.8	0.04	0.02	16.0	21.0	23.5	0.6	1.8
268V	9.2.82	7.67		9.1	1.60	0.009	5.1	5.0	0.00	0.04	48.0	21.5	27.5	0.8	1.6
354W	9.2.82	7.70	7.4	12.0	1.40	0.00	5.3	5.0	0.06	0.05	19.0	22.0	24.5	0.75	2.5
356E	15.10.82	7.63					1.4		0.00	0.07	18.8	27.0	29.5		
378RE	9.2.82	7.76	8.9	10.0	1.10	0.00	7.4	14.5	0.04	0.03	30.0	24.5	29.0	1.6	7.6
480V	9.2.82	7.69		7.6	1.10	0.003	2.0	3.0	0.00	0.04	22.0	17.5	20.5	0.25	1.1
755E	16.12.81	7.01		4.0	0.75	0.00			0.001	0.05		30.5	34.0	0.30	1.3
755E	9.2.82	7.18	10.6	7.7	1.10	0.00	13.0	3.8	0.00	0.07	31.0	19.5	24.0	0.25	1.3
778R	9.2.82	7.30	10.5	60.0	4.00	0.03	16.0	5.3	0.01	0.12	15.0	24.0	27.0	0.40	4.6
880E	9.2.82	7.42	9.2	11.0	1.10	0.003	19.0	8.0	0.01	0.11	16.0	23.5	27.5	0.50	2.3

cien avec les marnes de l'Oxfordien, c'est-à-dire au droit du portail nord de la galerie. Nous devons admettre, au stade actuel des connaissances, une décharge «occulte» des eaux du karst sous la Birse, au travers de ses alluvions. C'est d'ailleurs le cas dans la partie ouest de la cluse, au pied de la falaise du Rauracien, où des venues d'eau de 3–4 m^3/min environ ont été constatées lors de travaux routiers en 1957 (Flury et al. 1981). Il reste d'ailleurs parfaitement possible que, par chenaux en charge, des liaisons karstiques existent sous la rivière, entre les compartiments à l'est et à l'ouest de la cluse.

6. Conclusions

La mise en œuvre de travaux souterrains d'une certaine importance permet d'affiner les connaissances géologiques et hydrogéologiques d'une région, dans la mesure où plusieurs moyens d'investigation peuvent être regroupés et employés à établir des recoupements. Il s'agissait, dans le cas particulier, de la première possibilité d'exploration souterraine du secteur concerné, qui a permis de préciser divers éléments tant au sujet des structures que du karst et des circulations d'eau.

Nous n'avons pas constaté dans la zone sud de la galerie une quelconque présence du pli transversal des Rondez (LINIGER 1925), ce qui confirme les données sismiques de SUTER (1978). Nous proposons d'abandonner cette notion de pli transversal des Rondez au profit d'une conception plus «cassante» de la géométrie du toit du Malm à Delémont. Nous pensons que les différentes altitudes du contact Malm-Tertiaire s'expliquent mieux par des accidents NNE-SSW de type horst-graben, décelés par sismique, que par un pli transversal.

La fracturation relevée en galerie met en évidence deux événements qui ont marqué la géologie jurassienne: l'ouverture du fossé rhénan (fractures N 24° E) à l'Oligocène et une phase de plissement (fractures N 150° E) au tardi-Miocène.

Il est frappant de voir que l'orientation de la cluse du Vorbourg (N 15° E) correspond à celle ces fractures «rhénanes» (N 24° E). Il est donc envisageable que la formation de la cluse ait commencé avant le plissement jurassien, conformément aux notions soutenues par MONBARON (1975).

Dans le domaine de l'hydrogéologie karstique de la région de Delémont, les traveaux de MATHYS (1982) et FLURY et al. (1981) postulaient des circulations NNE-SSW liées aux failles rhénanes. Ceci est confirmé par nos observations en galerie: la fracturation rhénane prédomine largement, et la galerie, d'orientation nord-sud, n'a pas recoupé de chenal karstique de grandes dimensions. La perméabilité régionale des calcaires apparaît donc comme anisotrope, avec un minimum selon la direction est-ouest ($1\text{-}6 \times 10^{-4}$ m/s) et un maximum selon la direction nord-sud ($\sim 10^{-3}$ m/s?). Par ailleurs, les circulations d'eau constatées en galerie confirment le modèle de la «double porosité» proposé par BURGER (1979).

La comparaison des faciès rœntgenographiques des remplissages argileux confirme l'existence d'un paléokarst associé à l'ouverture du fossé rhénan (phase d'extension), colmaté au Sidérolithique et réactivé depuis le plissement jurassien par l'abaissement du niveau de base régional.

Remerciements

Le Syndicat d'épuration des eaux usées de Delémont et environs (SEDE) a eu la gentillesse de nous autoriser à publier les données acquises au cours du percement de la galerie. L'Office des eaux et de la protection de la nature (OEPN) ainsi que le Laboratoire des eaux du canton du Jura ont pris à leur charge une campagne d'analyses chimiques. Les CFF ont eu l'amabilité de nous autoriser à publier les données des forages F2, F3 et F4. M. D. Grobet a effectué une bonne partie des travaux en galerie, Mme R. Devaux a dactylographié le texte et M. C. Racine a dessiné les figures. A tous nous exprimons notre reconnaissance!

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT, D. (1975): L'évolution du relief jurassien. - Eclogae geol. Helv. *68*/1, 1-64.

BISETTI, A., & GROBET, D. (1981): Tunnel de la Grande Combe. Etude géologique et géotechnique. - Rapp. inédit, Bureau Schindler et Grobet, Delémont/Prêles.

BURGER, A. (1979): Recherche de critères pour la protection des eaux souterraines karstiques contre la pollution. Application au Jura suisse. - Bull. Cent. Hydrogéol. Univ. Neuchâtel *3*, 115-154.

CAILLEUX, A., & TAYLOR, G. (1954): Notice sur le Code expolaire. - N. Boubée et Cie, Paris.

FLURY, F., HENNET, R., & MATHYS, A. (1981): Hydrogéologie de la région Delémont-Develier. Rapport inédit. - Univ. Neuchâtel.

JAMIER, D. (1975): Etude de la fissuration, de l'hydrogéologie et de la géochimie des eaux profondes des massifs de l'Arpille et du Mont-Blanc. - Thèse Univ. Neuchâtel.

KUBLER, B., POCHON, M., & SIMEONI, J.-P. (1978): Les troubles des eaux karstiques: un exemple d'implication de l'hydrogéologie et de la minéralogie, pédologie, sédimentologie et géochimie. - I.H.E.S. Symp. Mém. h.s. CERG-USTL, Montpellier, France.

LINIGER, H. (1925): Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier. - Beitr. geol. Karte Schweiz *55*/IV.

MATHYS, A. (1982): Interprétation de données physico-chimiques des sources de la région Delémont-Develier (canton du Jura) à l'aide de l'analyse statistique multivariée. - Bull. Cent. Hydrogéol. Univ. Neuchâtel *4*, 185-212.

MEURY, P. (1981): Géologie du pli transversal de Vicques. Rapport inédit. - Univ. Neuchâtel.

MONBARON, M. (1975): Contribution à l'étude des cluses du Jura septentrional. - Thèse Univ. Neuchâtel.

POCHON, M. (1975): Evolution de la phase alumino-silicatée des sols sous climat tempéré-humide du Haut Jura suisse (domaine calcaire). - Bull. Groupe franç. des Argiles *27*, 69-85.

— (1977): Présence de matériel allochtone dans le remplissage karstique de la Baume de Loisia, à Gigny-sur-Suran (vallée du Suran, Jura, France). Caverne, suppl. I.

— (1975): Origine et évolution des sols du Haut Jura suisse. Phénomène d'altération des roches calcaires sous climat tempéré-humide. - Thèse Univ. Neuchâtel.

SCHINDLER, B., & FLURY, F. (1982): Galerie Delémont-Bellerive. Etude géologique et géotechnique. - Rapp. inédit, Bureau B. Schindler, Delémont/Prêles.

SUTER, M. (1968): Geologische Interpretation eines reflexionsseismischen W-E-Profils durch das Delsberger Becken (Faltenjura). - Eclogae geol. Helv. *71*/2, 267-275.

TRIPET, J.P. (1972): Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse (Jura neuchâtelois). - Thèse univ. Neuchâtel.